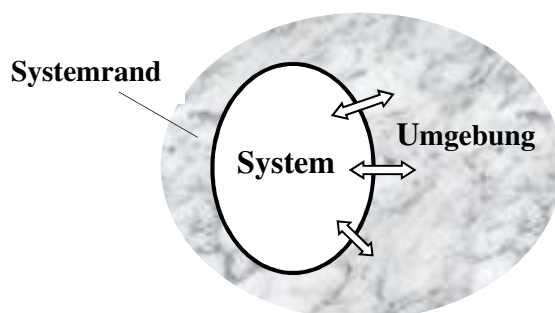


## Dynamische Systeme – eine Systemklasse von großer praktischer Bedeutung

Bei den Bemühungen um die Anwendung kybernetischer Methoden, speziell der Systemtheorie, auf reale insbesondere nichttechnische Systeme verfestigte sich immer mehr die Erkenntnis, dass die uns umgebenden Systeme im Gegensatz zu den meisten technischen Systemen vorzugsweise *dynamischer* Art sind. Wie sich zeigte, findet diese Systemkategorie in der Fachliteratur kaum Beachtung. Auch fand sich darüber wenig an theoretischen Grundlagen. Dies war Anlass, sich mit dieser Systemart genauer zu befassen, worüber nachfolgend berichtet werden soll.

### 1. Merkmale dynamischer Systeme

Die Systemtheorie stellt eine Methodik bereit, die es ermöglicht, den Focus auf ausgewählte Gesamtheiten beliebiger Art und auch wählbarer Größe zu richten und diese in einheitlicher Weise zu behandeln [1]. Grundlegende Merkmale der systemorientierten Betrachtungsweise sind (s. **Bild 1**):



**Bild 1** grundlegende Komponenten der Systemmethodik

- die Abgrenzung ausgewählter *Gesamtheiten* (Entitäten), bezeichnet als *Systeme*, gegenüber einer *Umgebung* (dem „Rest der Welt“) durch einen (wählbaren) *Systemrand*,
- das Vorhandensein eines internen Systemaufbaus, gekennzeichnet durch eine Anzahl von *Elementen*, die miteinander verbunden sind und eine *Struktur* bilden,
- das Bestehen von Wechselwirkungen sowohl zwischen System und Umwelt als auch zwischen den Elementen untereinander,
- die Art der Wirkbeziehungen in Form von Eingaben (Inputs) und Auswirkungen (Outputs),
- die Zweckorientierung der Systeme im Sinne eines zielorientierten *Verhaltens*.

Gegenstand der Anwendung der Systemmethodik waren bisher vor allem Gesamtheiten mit der Besonderheit, dass ihr innerer Aufbau vorab vollständig festgelegt und zeitlich unveränderlich ist. In diesen Systemen finden durchaus Prozesse statt, sodass intern dynamische Vorgänge mit dem Charakter von Zustandsänderungen ablaufen. Diese Merkmale treffen insbesondere auf technische Gebilde und Anlagen unterschiedlichster Art zu. Systeme dieser Art können im Rahmen der klassischen Systemtheorie behandelt werden.

Es zeigt sich indessen, dass in der Realität sogar mehrheitlich Anordnungen mit Systemcharakter anzutreffen sind, die sich im Verlauf der Zeit wandeln und daher dynamischen Charakter aufweisen.

Um zunächst eine Vorstellung von dynamischen Systemen zu vermitteln, verweisen wir auf das geläufige Beispiel von Straßenverkehrssystemen. Systeme dieser Art betreffen abgrenzbare Gebiete wählbarer Größe, etwa im Umfang einer Kommune oder eines Autobahnabschnitts, in dem eine bestimmte Verkehrsinfrastruktur besteht, in der auf bestimmte Weise verteilte Orte durch ein Straßennetz verbunden sind. Darin bewegen sich Kraftfahrzeuge, deren Anzahl als auch Position sich fortlaufend verändert. Selbst die Infrastruktur kann sich, beispielsweise durch Baumaßnahmen oder Straßensperrung infolge von Demonstrationen im Verlauf der Zeit verändern. Somit handelt es sich um ein typisches System dynamischen Charakters.

Diesen *dynamischen Systemen* wollen wir uns in der Folge zuwenden und deren Besonderheit kennenlernen. Bei der Behandlung wählen wir als methodischen Zugang ein *induktives Vorgehen*. Dieses auch in der Forschung akzeptierte Prinzip basiert bekanntlich auf der Beobachtung repräsentativer Einzelfälle, aus denen dann verallgemeinernd Schlussfolgerungen auf eine Gesamtheit gezogen werden. Diese Methode wird auch durchaus von der Wissenschaft akzeptiert. Dementsprechend werden wir ein schrittweises Vorgehen wählen, indem zunächst symptomatische Beispiele aus möglichst unterschiedlichen Sachbereichen untersucht werden. Später werden dann daraus Schlussfolgerungen gezogen. Zugleich ist auch zu erkunden, wie der aktuelle Stand der formalen Systembehandlung ist.

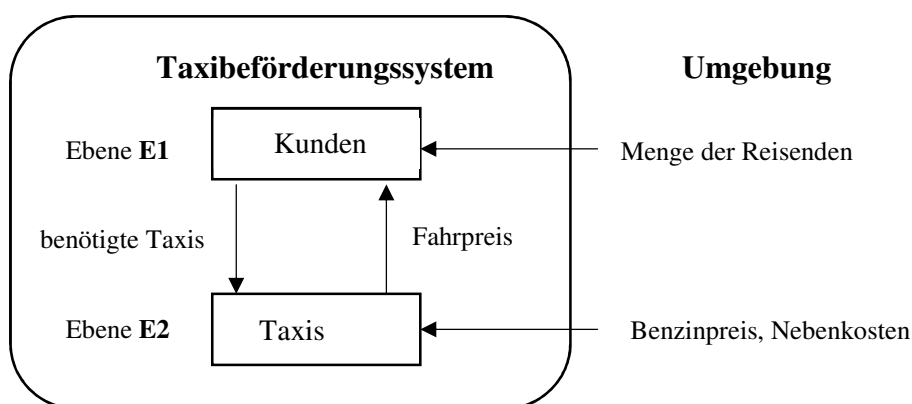
## 2. Dynamische Systeme mit Ausgleichsverhalten

Bei den in diesem Abschnitt behandelten Beispielen dynamischer Systeme soll es sich um solche handeln, deren gemeinsame Zielstellung in der Suche und Aufrechterhaltung eines *Gleichgewichtszustandes* besteht.

### 2.1 Beispiel 1: Taxibeförderungssystem

Das zunächst dynamische System ist vergleichsweise einfacher Art und befasst sich mit der Personenbeförderung durch Taxis. Die Systemelemente sind hier in zwei Gruppen geordnet, die Subsysteme bilden. Davon beinhaltet das Subsystem der Ebene **E1** die Menge der Kunden und die der Ebene **E2** die Menge der Taxis. Zwischen beiden Ebenen bestehen Wechselbeziehungen. So haben die Elemente der Ebene **E1** den Wunsch, befördert zu werden, während in der zweiten Ebene die Elemente bestrebt sind, möglichst viele Transportdienstleistung auszuführen, um damit Geld zu verdienen. Da sowohl die Menge der potentiellen Fahrgäste als auch der Taxis beständig wechseln, liegt somit ein dynamisches System vor.

Die folgenden Erläuterungen sollen der Anschaulichkeit wegen durch die in **Bild 2** dargestellte Grafik unterstützt werden.



**Bild 2** Beispiel eines Taxisystems

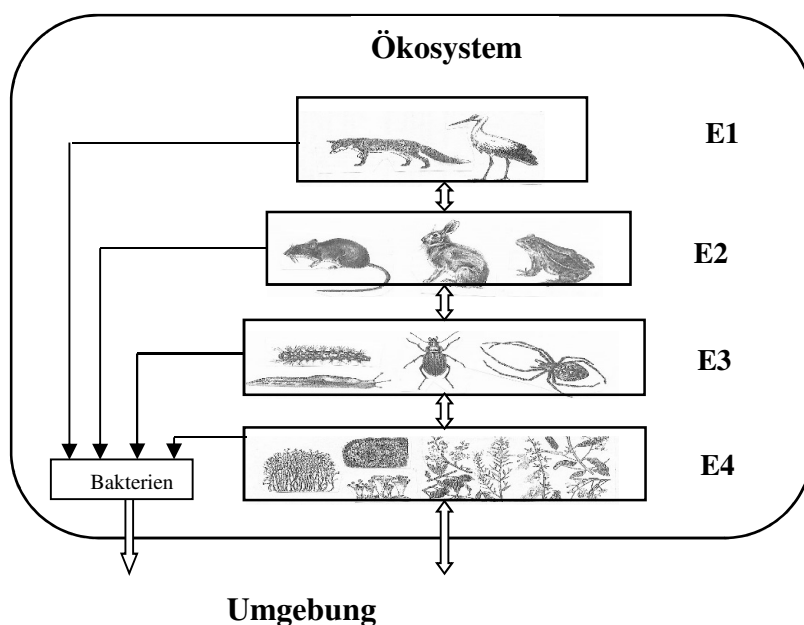
Das betrachtete Taxibeförderungssystem unterliegt erheblichen Einflüssen aus der Umgebung. So beeinflussen Faktoren, wie die Jahreszeit, Urlaubssaison und andere, den bestehenden Beförderungsbedarf von Kunden. Auch das Taxigeschäft wird durch äußere Vorgaben, wie schwankende Benzinpreise, Wartungskosten und erhobene Steuern wesentlich bestimmt. Die Taxifahrer erheben dann einen Fahrpreis, von dem sie glauben, dass er durchsetzbar ist. Der Fahrpreis hat jedoch wiederum Einfluss auf die Inanspruchnahme von Taxis. Verringert sich der Bedarf an Taxis, so werden diese vermehrt unbenutzt herumstehen, sodass sich deren Anzahl zunehmend verringert. Dies hat dann wiederum zur Folge, dass sich die Wartezeiten für die Kunden verlängern. Somit werden sie eher bereit sein, einen höheren Fahrpreis zu zahlen. Am Ende eines solchen Wechselspiels wird sich also ein Gleichgewicht zwischen der Anzahl der Kunden und der vorhandener Taxis einstellen, mit dem beide Seiten leben können. Das betrachtete System ist durchaus dynamischer Art, weil sich die Anzahl der in den Subsystemen vorhandenen Elemente und auch deren Standort fortlaufend ändern.

Eine ähnliche Sachlage besteht auch bei dynamischen Systemen, die das Marktgeschehen betreffen [2]. Auch hier gibt es zwei Subsysteme, die miteinander wechselwirken. In diesem Fall handelt es sich um das der Kunden sowie das der Händler bzw. Warenproduzenten. Solche Systeme unterliegen ebenfalls den Einwirkungen aus der Umgebung. Dazu gehören beispielsweise das saisonale Angebot an Früchten und Gemüse, die jeweiligen Mode oder auch das Kaufvermögen der Kunden. Diese Einflüsse müssen von den Beteiligten durch Wechselwirkung austariert werden, bis sich möglicherweise ein Gleichgewichtszustand einstellt. Die Beziehungen zwischen beiden Subsystemen sind somit ähnlicher Art wie zuvor geschildert, was hier aber nicht mehr im Einzelnen dargestellt werden soll.

## 2.2 Beispiel 2: Ökologisches System

Auch in der Natur treffen wir vielfach auf dynamische Systeme, in denen Subsysteme um Ausgleichen. Dazu soll diesmal ein komplexeres dynamisches System ökologischer Art betrachtet werden, welches bereits Gegenstand früherer Untersuchungen war [3]. Mit der Wahl dieses Beispiels soll insbesondere verdeutlicht werden, dass auch komplett nichttechnische Gemeinschaften mit dieser Systemkategorie erfasst werden können.

Wie die in **Bild 3** dargestellte Grafik versinnbildlicht, enthält das betrachtete Ökosystem vier Subsysteme, die untereinander in einer hierarchischen Beziehung stehen.



**Bild 3** Beispiel eines Ökosystems

Auf unterer Ebene **E1** findet sich ein mehr oder weniger reiches Angebot an Moosen, Flechten, Pilzen, Beeren, Gräsern usw., das die Lebensgrundlage für das Gesamtsystem bereitstellt. Von diesen Pflanzen ernähren sich auf Ebene **E2** diverse Kleintiere, wie Schnecken, Raupen, Insekten verschiedener Art. Diese Lebewesen werden auf Ebene **E3** wiederum von Mäusen, Hasen, Fröschen und anderen mittelgroßen Tiere verspeist. Davon ernähren sich dann auf Ebene **E4** größere Tiere, wie Füchse und Störche. Es herrscht somit eine Hierarchie des Fressens und Gefressenwerdens. Die Lebewesen auf jeder Ebene produzieren auch Ausscheidungen, die wiederum in den Boden und damit in die Umgebung gelangen und dort von Bakterien und Pilzen zersetzt werden.

Die bestehenden Wechselbeziehungen zwischen den Subsystemen können wie folgt erläutert werden. Auf jeder Ebene führt die Ausbeutung der Nahrungsquelle auf der unterlagerten Ebene zu einer Verknappung dieser Ressource. Dies hat wiederum zur Folge, dass von dem verringerten Nahrungsangebot zunehmend weniger Mitglieder der eigenen Population ernährt werden können, so dass sich deren Größe zwangsläufig reduziert. Dieser Rückkopplungsmechanismus besteht über alle Ebenen hinweg. Unter dem Einfluss dieser Wechselwirkungen stellt sich nach einer Zeit des Einpendelns am Ende ein Gleichgewichtszustand ein. Falls dieses Gleichgewicht erreicht wird, liegt ein Systemzustand vor, bei dem auf jeder Ebene gerade so viele Lebewesen ihr Auskommen haben, ohne dass die Population der Tiere der unterlagerten Ebene zusammenbricht. Der Ausgleichsmechanismus kommt auch hier – wie bei dem zuvor behandelten Taxiproblem – wie bei dem zuvor behandelten Taxiproblem, ohne eine Steuerung interner oder externer Art aus.

Ein einmal erlangtes Gleichgewicht im Ökosystem kann auch gestört werden, wofür Ursachen aus der Umgebung, wie Naturereignisse, Klimaveränderungen oder auch Eingriffe des Menschen, in Betracht kommen. Besonders nachteilig wirken sich die vom Menschen häufig aus Gewinnsucht oder manchmal auch aus Unachtsamkeit verursachten Eingriffe in die Natur aus. Aber auch interne Störungen, wie das Ausbrechen von Krankheiten oder Epidemien bei bestimmten Tierarten können sehr folgenreich sein, indem einzelne Subsysteme mehr oder weniger stark dezimiert werden oder es gar zum Auslöschen ganzer Spezies kommen kann. Derartige massive Ursachen haben auf das Gesamtsystem erhebliche Auswirkungen und veranlassen neue Ausgleichsvorgänge.

Bei dem hier betrachteten Beispiel handelt es sich zwar um ein landgestütztes Ökosystem, jedoch können die zugehörigen Betrachtungen problemlos auch auf den Bereich der Wasserflora und -fauna übertragen werden. Auch hier streben diese Ökosysteme einem Gleichgewichtszustand an. Systeme dieser Art können dann durchaus auch eine größere Anzahl von Subsystemen enthalten. Als Bewohner der obersten Ebene sind dann möglicherweise Tierarten, wie Haie oder bestimmte Walarten, anzutreffen.

Den vorgestellten Beispielen mit der gemeinsamen Zielstellung mit der der Gleichgewichtssuche und -einhaltung entnehmen wir die Erkenntnis, dass die dafür notwendigen nicht durch eine systemimmanente Steuerungseinrichtung bestimmt werden. Die Systemfunktion wird somit ausschließlich durch über die Subsysteme hinweg reichende Wechselbeziehungen bestimmt.

### **3. Dynamische Systeme mit Zustandsüberführung**

Einer wesentlichen Gruppe dynamischer Systeme unterliegt die Zielstellung, einen aktuellen Systemzustand unter gewissen Nebenbedingungen in einen gewünschten Zielzustand zu überführen. Bei der Erörterung solcher Gemeinschaften wagen wir uns diesmal sogleich an Beispiele recht komplexer Art, wie sie im Zusammenhang mit globalen Problemen stehen.

#### **3.1 Beispiel 1: Globales Klimasystem**

Der Klimawandel findet derzeit angesichts der immer deutlicher werdenden Folgen eine zunehmend größere Aufmerksamkeit. Da passt es in die Zeit, wenn wir dieses Problem als Beispiel dynamischer Systeme mit Zustandsüberführung auswählen.

Der Klimawandel äußert sich in einer zunehmenden Erwärmung der Erdatmosphäre mit gravierenden Folgen. Dazu zählen das gehäufte Auftreten langer Dürreperioden, extremer Wetterkapriolen, das Abschmelzen der Gletscher, der Anstieg des Meeresspiegels u. a. m. Der Ernst der Situation wurde inzwischen mit Ausnahme von wenigen Leugnern erkannt. Als Ursache dieser Klimaerwärmung wurden Treibhausgase identifiziert, die weitgehend durch die Tätigkeit der Menschen verursacht werden. Diese entstehen hauptsächlich bei der Stromerzeugung sowie durch den weiterhin steigenden Verkehr auf Straßen, in der Luft und auf dem Meer sowie durch großflächige Waldbrände. Wenn die Verursachung des Klimawandels weitgehend auf die Tätigkeit menschlichen Handelns zurückzuführen ist, dann ist es auch die Aufgabe dieser Spezies, sich dieser Bedrohung entgegen zu stellen.

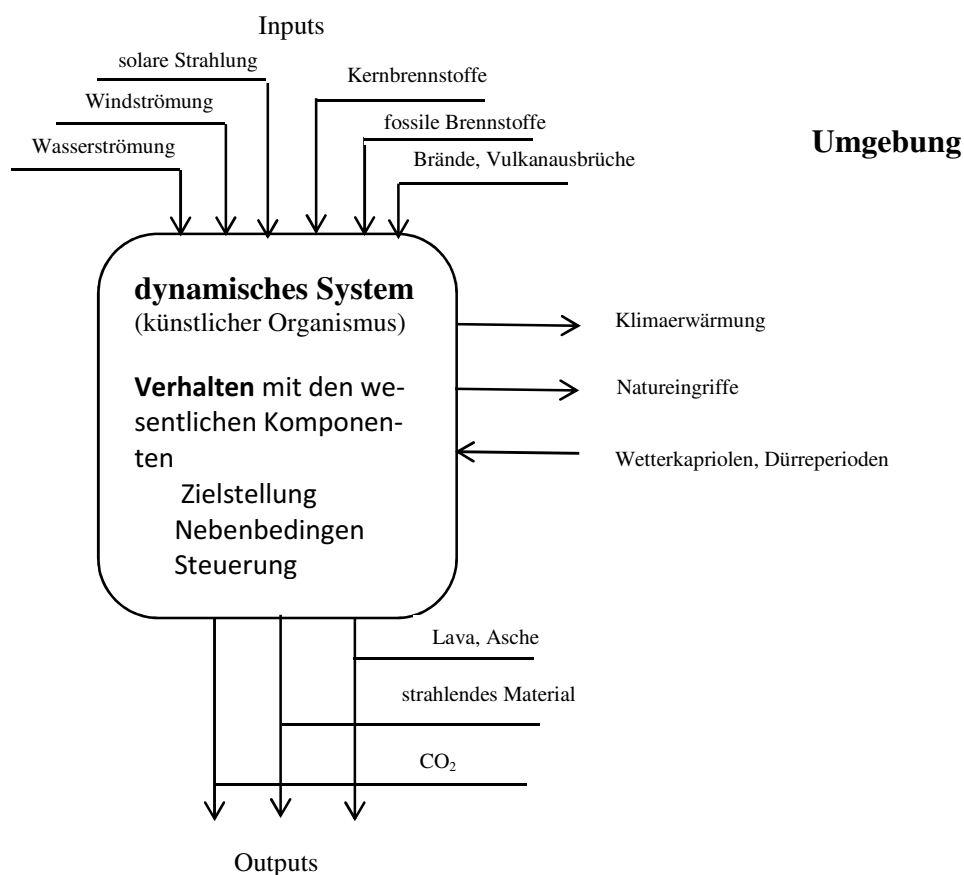
Wenn es sich beim Klimawandel um eine globale Aufgabe handelt, dann sollte sich die Menschheit gemeinschaftlich an der Eindämmung der schädlichen Klimaentwicklung beteiligen. So ist auch die UNO als eine Art Weltbehörde bereits tätig geworden, indem sie zumindest Grenzwerte für den Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase festlegte. Gegenwärtig findet auf UN-Ebene in New York ein weiterer Welt-Klimagipfel statt, von dem die Festlegung weiterer, möglichst energischer Schritte zur Eindämmung der Klimaverschlechterung erwartet wird. Weitere Veranstaltungen mit internationaler Beteiligung sind die in gewissen Abständen stattfindenden Tagungen im Rahmen des sog. Kyoto-Protokolls, auf denen im Sinne eines Fahrplanes bestimmte Teilziele vereinbart werden. Leider werden diese selbst auferlegten Vorgaben von manchen Ländern nicht erfüllt bzw. einige der Hauptverursacher sind dieser Vereinigung erst gar nicht beigetreten.

Die Umsetzung der festgelegten Klimaziele ist dann Sache der einzelnen Länder. Für Deutschland hat dazu die Bundesregierung u. a. ein Klimaschutzgesetz mit einem diesbezüglichen Programm auf den Weg gebracht, in dem detailliert festgelegt ist, welche zeitlich gestaffelten Obergrenzen für den Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), aufgeschlüsselt auf Gebäude, die Kraftwerksbranche, Industrie, der Landwirtschaft, den Verkehr und andere Bereiche, vorgibt. Als Zielmarke wird von der Kanzlerin vorgegeben, dass Deutschland im Jahr 2050 klimaneutral sein soll. Damit will dieses Land seinen Beitrag zur Begrenzung der Erderwärmung auf maximal  $2^\circ\text{C}$  leisten, was von den Experten als zu niedrig angesetzt kritisiert wird. Die „Grünen“ fordern inzwischen die Erreichung dieses Klimaziels bereits für 2035.

Die Überführung des aktuellen in den gewünschten Zielzustand erfordert einen Übergangsprozess, der weitgehend von Menschen zu gestalten ist. Während dieses Wandels besteht die Hauptbedingung in der Absicherung der Stromversorgung sowie auch der der Befriedigung des anstehenden Mobilitätsbedarfs. Eine weitere Nebenbedingung besteht darin, dass der Überführungsprozess für die davon betroffenen Personen und Einrichtungen auf möglichst verträgliche Weise zu gestalten ist.

Für die nachfolgende Behandlung dieses Beispiels wählen wir wieder den Systemzugang. Entsprechend der globalen Dimension des Klimawandels ist auch der Systemrahmen entsprechend weit zu fassen. Die nachfolgende Behandlung als dynamisches System soll durch eine Grafik unterstützt werden, welche **Bild 4** veranschaulicht. Die Darstellung visualisiert einen Ausschnitt aus einem transienten Prozess.

□



**Bild 4** Dynamisches System zur Beschreibung des anstehenden Klimawandels

Wie ersichtlich entnimmt das System der Außenwelt die zur Deckung des internen Strombedarfs benötigten Primärenergien, welche die Systeminputs bilden. Diese Energiezufuhr erfasst einerseits die derzeit noch dominierenden Primärenergieträger. Dazu zählen zum einen die Kernbrennstoffe, die systemintern in einigen noch vorhandenen Atomkraftwerken zur Stromerzeugung genutzt werden. Diese Art der Energiewandlung ist zwar klimaneutral, hat aber wegen der Risiken und Spätfolgen gravierende Nachteile, sodass eine schrittweise Außerbetriebnahme solcher Kraftwerke verfügt wurde. Die Hauptquellen der derzeitigen Stromversorgung sind jedoch die fossilen Brennstoffe, deren Energiewandlung in Wärmekraftwerken erfolgt. Diese tragen aber auch mit am meisten zur Emission der schädlichen Treibhausgase bei. Derartige Gase entstehen auch bei großflächigen Bränden, wie etwa der Rodung der wertvollen Regenwälder.

Angesichts des auf dem Energiesektor bereits stattfindenden Umstellungsprozesses sind auch die zunehmend eingesetzten regenerativen Energiequellen zu berücksichtigen, welche die zweite Gruppe der Inputs bilden. Ihr Anteil erhöht sich zwar ständig, sollte aber angesichts der Klimaneutralität forciert weiter ausgebaut werden. Zu den wichtigsten aus der Umgebung stammenden Energiequellen zählen die solare Strahlung, Kraft des Windes sowie auch der Energiegehalt des Wassers. Die Umsetzung in elektrischen Strom erfolgt hier mittels Solarpanelen, an günstigen Standorten aufgestellten Windkraftwerken sowie in Meereskraftwerken.

Auf Seiten des Outputs sind die bei der Verwertung der Energieträger anfallenden Abprodukte zu berücksichtigen. Dazu zählen bei der Kerntechnologie die abgebrannten Brennstäbe, welche mangels weiterer Verwertbarkeit derzeit nur langfristig endgelagert werden können. Das zweite bedeutsame Abprodukt sind die emittierten Kohlendioxidgase, die bei der Nutzung fossiler Energieträger entstehen und vor allem den Kohlekraftwerken, Industrieanlagen und nicht zuletzt von den mit Benzin, Dieselmotoren und Kerosin betriebenen Fahrzeugen zu Land, auf dem Wasser und in der Luft als Abgase

entstammen. Daraus ergeben sich wiederum Rückwirkungen auf die Umgebung, die zu der bereits genannten Klimaerwärmung sowie zu Eingriffen in die Natur vor allem im Zusammenhang mit der Ausbeutung der fossilen Energieträger führen.

Der zur Bewältigung des Klimas anstehende Technologiewandel erfordert einen anspruchsvollen Umstellungsprozess, der systemintern zu bewältigen ist. Hauptbedingung ist dabei die Sicherstellung der Stromversorgung und Mobilität. Eine wichtige Nebenbedingung besteht in der verträglichen Gestaltung dieses Umstellungsprozesses. Dabei besteht die Aufgabe, die gravierenden Folgen dieser Technologiewende weitgehend abzufedern. Diese betreffen vor allem die Zukunft ganzer Industriezweige und betroffener Regionen einschließlich des Verlusts zahlreicher Arbeitsplätze. So verwundert es nicht, wenn es systemintern auch zu massiven Protesten und hartnäckigen Verweigerungen seitens der Kommunen, Industrieverbänden und der betroffenen Bevölkerung kommt. Dabei kommt es auch zu zahlreichen Bürgerbewegungen, Verschiebungen innerhalb der Parteienlandschaft und einer allgemeinen Verschlechterung der Stimmungslage der Bevölkerung. Dies alles behindert auch die zügige Umsetzung der gefassten Beschlüsse und Vorhaben. Daher ist ein bedachtsames und auf vielerlei Weise notwendiges Vorgehen bei der Umsetzung der Energiewende angesagt, das zahlreiche Imponderabilien enthält. Dies alles bis ins Detail zu berücksichtigen, entzieht sich daher einer formalen Systembeschreibung. Eine ausführlichere Darlegung des Klimaproblems findet sich in [4].

### 3.2 Beispiel 2: Globales Bevölkerungssystem

Ein weiteres Problem globalen Ausmaßes ist der seit Mitte des zurückliegenden Jahrhunderts verstärkt stattfindende und mittlerweile nahezu explosionsartige Anstieg der Weltbevölkerung. Die Menschheit vergrößert sich rasant. Waren es 1900 noch 1,6 Mrd. Menschen, so hat sich die Weltbevölkerung inzwischen auf 7,1 Mrd. erhöht. 2050 könnten es 9 Mrd. Und am Ende des Jahrhunderts womöglich 11 Mrd. sein [5]. Spitzreiter sind China mit 1,346 Mrd. und Indien mit 1,241 Mrd. Bis zum Jahr 2050 wird die Menschheit voraussichtlich auf 9 Mrd. angewachsen sein.

Eine Besonderheit besteht darin, dass die derzeitige Bevölkerungsentwicklung sehr ungleich verteilt ist. Verzeichnen die Industrieländer eine in etwa gleichbleibende und z. T. sogar etwas rückläufige Population, so ist in den landwirtschaftlich geprägten Ländern ein sich sogar noch verstärkendes Bevölkerungswachstum zu verzeichnen, das auch durch die Erfolge der modernen Medizin begünstigt wird. Selbst eine maßvolle Geburtenrate trägt in den bevölkerungsreichen Ländern, wie China und Indien, ebenfalls zum steilen Anstieg der Weltbevölkerung bei.

Der gewaltige Bevölkerungsanstieg auf der Erde führt bereits zu schwerwiegenden Folgen, die Anlass zu großer Sorge bieten. So werden die zur Ernährung einer immer größeren Anzahl von Menschen benötigten landwirtschaftlich nutzbaren Flächen zunehmend durch Rodungen unserer kostbaren Wälder beschafft, was wiederum das Erdklima nachhaltig schädigt. Auch hat der Kampf um die Ressource Wasser längst eingesetzt. Besonders in den armen Ländern brechen vermehrt Hungersnöte aus. Dort finden viele der recht zahlreich vorhandenen jungen Menschen keine Arbeit und sehen für sich keine Perspektive. Daraus resultiert wiederum ein Anschwellen der Flüchtlingsströme, die vornehmlich gen Europa gerichtet sind und deren Bewältigung dort wiederum zu Problemen führt. Bei weiterer Zuspitzung der Situation wird man sogar mit kriegerischen Auseinandersetzungen um die letzten Ressourcen rechnen müssen. Kurzum: die Menschheit geht einer global wirkenden Krise entgegen, die große Probleme aufwirft.

Da ist es verwunderlich, wenn eine solch Entwicklung in der Breite kaum zur Kenntnis genommen wird. Obwohl es sich hier um ein Problem ähnlicher Dimension wie beim Klimawandel handelt, vermisst man ein entschiedenes Entgegenwirken des von der Menschheit selbst verursachten Problems. Auch die Weltorganisation scheint sich nicht ernsthaft diesem Problem zuzuwenden und zur Bewältigung der Herausforderung beizutragen. Somit verbleibt derzeit nur die Hoffnung, dass es der Menschheit in der Vergangenheit noch immer gelungen ist, Auswege aus einer Misere zu finden.

Das hier hervorgehobene Problem des notwendigen Entgegenwirkens einer beständig anwachsenden Weltbevölkerung ist dem der Beherrschung des zuvor behandelten Klimawandels in vielerlei Hinsicht

ähnlich, sodass es sich auch hier um ein dynamisches System mit globalen Dimensionen handelt. Auch hier findet ein Zustandsübergang statt, an dessen Ende wir hoffen wollen, dass die Menschheit diese Entwicklung in den Griff bekommt. Angesichts der Ähnlichkeit der Probleme wollen wir jedoch hier auf eine detaillierte Schilderung des Systemverhaltens verzichten.

## 4. Dynamische Systeme mit weiteren Zielstellungen

Im Weiteren soll noch gezeigt werden, dass dynamische Systeme noch eine Vielzahl anderer Zielstellungen verfolgen können. Um dies zu verdeutlichen, werden nachfolgend wenigstens einige weitere Möglichkeiten aufgezeigt. Auf eine detaillierte Darlegung des jeweiligen Verhaltens werden wir jedoch aus Gründen der Beschränkung des Aufwandes hier verzichten.

### 4.1 Dynamische Systeme mit dem Ziel der Lebenserhaltung

Das Dasein der Menschen wird immer wieder durch bedrohliche Lebensumstände, wie das Auftreten von Hungersituationen, Epidemien und andere Katastrophen, beeinträchtigt. Solche Extremsituationen können bedrohliche Ausmaße annehmen und sogar die Existenz von Bevölkerungsgruppen gefährden. Ursachen für solche Notsituationen können u. a. die Folgen langdauernder Dürreperioden, Missernten, gravierende Klimaveränderungen sowie eingeschleppte ansteckende Krankheiten sein. In Notsituationen können aber auch Gefangene in fernliegenden Haftlagern, gestrandete Schiffbrüchige oder auch Überlebende notgelandeter Flugzeuge in unbesiedelten Gebieten geraten sein. Solche Vorkommnisse sind vom Systemstandpunkt aus der Umgebung zuzurechnen. Je nach Anzahl der von solchen Schicksalsschlägen Heimgesuchten kann die Systemgröße in weiten Grenzen variieren.

Beim Eintritt solcher Notsituationen geht es nicht selten ums nackte Überleben. Die dem System zugehörigen Menschen stellen sich solchen Notsituationen in einem Kampf ums Überleben entgegen, indem sie nach Auswegen aus dieser Misere auf jede mögliche Art suchen. Dies betrifft die Suche nach geeigneten Mitteln und Wegen, Abschätzung des Machbaren, Prüfung auf Tauglichkeit und Verwertung des Tauglichen zur eigenen Rettung. Nicht alle dieser Versuche sind erfolgreich, sodass auch Verluste hinzunehmen sind. Berichte über Notlagen solcher Art und anschließend geglückter Rettung finden sich in einer Vielzahl oft spektakulärer Beiträge.

Im hier betrachteten Zusammenhang soll noch auf ein spezielles Beispiel der Bewältigung bedrohlicher Situationen eingegangen werden, von dem menschliche Gemeinschaften beträchtlicher Größe selbst in hochentwickelten Ländern – oder gerade dort – jederzeit betroffen sein können. Eine solche ersthafte Bedrohung wurde in einem Roman vorgestellt, in dem die verheerenden Folgen eines großflächigen Ausfalls der Stromversorgung, ausgelöst durch terroristische Attacken, behandelt wurden [6]. Von einer derartigen von außen eingeleiteten Attacke würden im Systeminneren schwerwiegende Störungen ausgelöst, die detailliert geschildert werden. Als Sofortwirkung eines solchen Störfalls würde ein vollständiger Ausfall der Beleuchtung (*Black Out*) und weitere gravierende Störungen, etwa bezüglich der Wasserversorgung, Heizung, Benzinbeschaffung etc., eintreten. Nach einiger Zeit käme es zum Erlöschen der Notstromversorgung infolge des Aufbrauchs des Brennstoffvorrats, den Verderb der in Kühlschränken gelagerten Lebensmittel, zum Erlöschen des Verkehrs und weiteren Effekten. Die weiteren Folgen wären die Erstürmung von Supermärkten verbunden mit Kriminalität und Gewaltanwendung. Weniger krass betroffen wären dann nur Menschen, die einen Gasanschluss besitzen, über einen Kamin oder heizbaren Ofen verfügen oder sich mit einer eigenen Photovoltaikanlage oder Windgenerator mehr oder weniger energieautark gemacht haben. Anschließend wird geschildert, wie es gelingt, die allgemeine Stromversorgung – ausgehend von kleinen Inselnetzen – langsam wieder in Gang zu setzen. Man kann sich leicht vorstellen, welche komplexen Beziehungen in solchen Notsituationen systemintern bestehen und von den Betroffenen irgendwie gemeistert werden müssen.

Dieser spannend geschilderte Störfall sollte uns vielleicht aber auch Anlass sein, darüber nachzudenken, wie wir uns auf diese durchaus realistische Möglichkeit eines solchen Störfalls durch Bevorratung mit dem Nötigsten vorbereiten können.



## 4.2 Dynamische Systeme mit Selbstoptimierung

Bei der weiteren Umschau trifft man auch auf Systeme, in denen das Bedürfnis besteht, das Maximale aus einer Sache herauszuholen. Das Ziel der immanenten Bemühungen besteht dann darin, das Extremum eines vorgegebenen Gütefunktionalen unter den beständig wechselnden Bedingungen einer Umgebung zu erreichen. Die *Optimierung* erfordert dann, diesen Einwirkungen systemintern zielorientiert entgegenzuwirken, indem erfolgversprechende Handlungen bestimmt, realisiert und anschließend hinsichtlich der Zielannäherung bewertet werden. Ein solches Verhalten trägt durchaus spekulative Züge und verlangt große Erfahrungen, was sich einer formalen Beschreibung weitgehend entzieht.

Um das Verhalten derartiger Systeme näher kennen zu lernen, wählen wir diesmal ein Beispiel aus der *Finanzwelt*. Genauer gesagt, soll es sich hier um die Maximierung des Wertes von Geldanlagen handeln. Diese Aufgabe soll hier einem Fondsmanager übertragen werden. Seine Tätigkeit besteht hier darin, das in verschiedene Anlageformen aufgeteilte Portfolio von Bankkunden, zu dem in bestimmten Anteil Aktien, Anleihen, Renten, Derivate und vielleicht auch Gold gehören, in geeigneter Weise zielorientiert zu managen. Diese Aufgabe erfordert ein beständiges Beobachten der internationalen Finanzmärkte, der Entwicklungen der verschiedenen Anlageformen und nicht zuletzt auch große Erfahrungen sowie ein ausgeprägtes Gespür für die weiteren Entwicklungen auf verschiedenen Sektoren. Angesichts der Vielzahl der Komponenten sowie der bestehenden Unwägbarkeiten entzieht sich das Agieren des Systemmanagers weitgehend einer formalisierten Beschreibung.

Entsprechend der Bedeutung der hier betrachteten Klasse dynamischer Systeme soll noch auf ein weiteres Beispiel wenigstens verwiesen werden. Dieses betrifft das sog. *Outsourcing*, d. h. die Verlagerung von Fertigungskapazitäten in Billiglohnländer zum Zweck der Gewinnmaximierung. Auch hier werden unter fortlaufende Beobachtung des wirtschaftlichen Umfeldes in ausgewählten Ländern Eingriffe in die innere Systemstruktur vorgenommen, die sich somit dynamisch verändert. Der Umfang solcher Auslagerungen kann bestimmter Teile der Produktion, ganze Fertigungslinien oder gar die Gesamtfertigung eines Produkts betreffen, wobei sich der innere Konzernaufbau verändert. Von dieser Möglichkeit haben vor allem die Automobilbranche und der Maschinenbau bisher reichlich Gebrauch gemacht. Die Entscheidungen über den Umfang der Auslagerungen beruhen wiederum auf Erfahrungen und Erwartungen der Manager bezüglich erzielbarer Kosteneinsparungen oder Absatzsteigerung. Ein solches Vorgehen trägt ebenfalls spekulative Züge und ist mit gewissen Risiken verbunden.

## 4.3 Dynamische Systeme mit Selbstentwicklung

Es ist sicherlich ein hehres Ziel, wenn dynamische Systeme das inhärente Bestreben haben, sich selbst zu verbessern, d. h. ihre *Qualität* zu steigern. Dazu müssen sie einen Entwicklungsprozess durchlaufen, während dessen sich bestimmte Parameter schrittweis verbessern.

Zunächst ist einzuräumen, dass Entwicklung Zeit braucht. Also werden wir bei der Umschau nach einem geeigneten Beispiel für dynamische Systeme dieser Art unseren Blick besonders auf solche richten, die sich möglichst lange in einem Entwicklungsprozess befinden. Was liegt dann näher, als die *qualitative Entwicklung der Menschheit* vom sog. Modernen Menschen zum heutigen Menschen zu wählen. In diesem Zeitraum von immerhin 50 000 - 30 000 Jahren ist es unbestreitbar zu gewaltigen Fortschritten gekommen, die den Menschen auf vielerlei Weise zugutegekommen sind. Dabei hat der Mensch auch in die Natur, und damit in die Umgebung des Entwicklungssystems eingewirkt. Dies geschah nicht nur, um sich diese ihm dienstbar zu machen, sondern hatte leider manchmal auch Folgen in Bezug auf die Schädigung der Natur.

Auch hier ist wieder nach den Triebkräften zu fragen, die im Innern solcher dynamischer Systeme wirksam gewesen sein müssen, um diese gewaltigen Fortschritte zu erklären. Dem ist mit dem Hinweis auf eine wesentliche, vorzugsweis beim Menschen anzutreffende Eigenschaft zu antworten, nämlich seine immanente Aktivität. Dieses Vermögen ist bei den Menschen unterschiedlich ausgeprägt. Hinzu kommt, dass es immer wieder herausragende Menschen gab und gibt, die neugierig und vielseitig interessiert sind, fortlaufend nach neuen Erkenntnissen streben, Verbesserungen auf den verschiedensten Gebieten ersinnen und dabei dank ihres Erfindungsreichtums und ihrer Kreativität

Schöpfer neuartiger Lösungen und Verfahren sind. Bei diesem Zusammenwirken kam es zu Erkenntnissen, Entdeckungen und neuartigen Lösungen auf zahlreichen Gebieten, wie in der Astronomie, Landwirtschaft, Technik, Chemie und nicht zuletzt auch auf medizinischem Gebiet. Diese Resultate erbrachten Fortschritte, die sich rasch verbreiteten und dabei zum Allgemeingut der Menschheit wurden. Diese Fortschritte kamen den Menschen auf vielseitige Weise zugute, indem sie zu vielseitigen Verbesserungen seiner Lebensumstände führten, ihm körperlich oder geistig anstrengende oder auch gefährliche Arbeit abnahmen, seinen Komfort erhöhte, die Mobilität ungeahnt ausweiteten und letztlich auch die Möglichkeiten der Kommunikations- und Information in ungeahnter Weise erweiterten.

Eine detailliertere Darlegung dieses Entwicklungsprozesses der Menschheit und Beschreibung deren wesentlicher Stufen kann der Literaturstelle [7] entnommen werden.

Die Liste möglicher Zielstellungen, die in dynamischen Systemen anzutreffen sind, ließe sich noch lange fortsetzen, dem wir hier jedoch nicht weiter nachkommen wollen.

## 5. Ergebnis

Wie die hier vorgestellten Beispiele erkennen lassen, finden sich in der Praxis Gesamtheiten in großer Zahl und Verschiedenheit, deren innerer Aufbau sich während ihrer Tätigkeit in mancherlei Weise verändert. Dazu wurde hier von der Systemmethodik Gebrauch gemacht, was eine übersichtlichere Behandlung erleichtert. Dabei ergab sich als erstes die Erkenntnis, dass eine Vielzahl (vielleicht Überzahl) dieser Systeme dynamischen Charakter aufweist, da sich sowohl die Anzahl der Elemente als auch deren Standorte und Wirkbeziehungen und somit der Systemaufbau fortlaufend ändern. Entsprechend des gemeinsamen Hauptmerkmals eines zeitlichen Wandels des inneren Aufbaus wird für diese Kategorie der Begriff *Dynamische Systeme* verwendet. Wie anhand der Beispiele deutlich wurde, werden in solchen Systemen recht unterschiedliche Zielstellungen verfolgt.

Zu den weiteren Merkmalen dieser Systemkategorie gehört, dass hier die Systemelemente zumeist in einer Vielzahl und wechselnden Anwesenheit vorhanden sind, sodass es sich dann ebenfalls um sog. *Große Systeme* handelt. Eine weitere Besonderheit betrifft die Art der Elemente. Außer technischen Elementen sind hier auch solche natürlicher Herkunft, darunter Lebewesen unterschiedlicher Art, vorhanden. Von besonderer Bedeutung sind die in dynamischen Systemen vielfach enthaltenen Menschen. Diese bringen gegenüber den künstlichen Elementen einen neuen Aspekt mit ins Spiel: ihre Eigenaktivität. Diese Fähigkeit ist oftmals kombiniert mit Neugier, Wissensdrang und Kreativität. Menschen haben auch ihre eigenen Ansichten, Bedürfnisse und Forderungen, die sie geltend machen. Damit kommen Verhaltensweisen mit ins Spiel, die formal kaum erfassbar sind. Hinzu kommt, dass in solchen Menschen enthaltenen Systemen auch Instanzen in Form von Verwaltungen, Behörden, Verbänden, Lobbyisten und Parteien integriert sein können. Somit ist festzustellen, dass insgesamt eine kaum übersehbare Vielzahl und Unterschiedlichkeit von dynamischen Systemen, darunter solchen mit Elementen von nicht einschätzbarem Verhalten, existiert. Angesichts der vorhandenen Imponderabilien steht eine geschlossene formale Behandlung dynamischer Systeme im Sinne der klassischen Systemtheorie wohl nicht in Aussicht.

Nach diesem ernüchternden Befund müssen wir uns wohl damit abfinden, dass sich die Behandlungsmöglichkeiten dynamischer Systeme weitgehend auf Analysen zumeist qualitativer Art beschränken. Dennoch glaubt der Autor, dass die vorgestellten Untersuchungen von eigenem Wert sind, als diese geeignet erscheinen, das Wesen dynamischer Systeme aufzuhellen.

## Literatur

[1] Weller, W.: Systemtechnologie. Grundlagen und Anwendungen. Untertitel: Denken in Systemen – ein neues Paradigma zur Behandlung technischer und natürlicher Systeme, ISBN 978-3-8442-7938-2, see: <https://www.epubli.de/myaccount/publikation/33701>

[2] Weller, W.: Marktmodell. see: . . . /Geschäft/Einzelne Beiträge/ns-6 (Marktmodell), unveröffentlicht

[3] Weller, W.: Untersuchung ökologischer Systeme mit kybernetischen Methoden. 2017-06-20. see: <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/14119>

[4] Weller, W.: Objektive Analyse des globalen Klimawandels. edoc-server der Humboldt-Universität zu Berlin. 2019-10-07. see: <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/21319>

[5] Weller, W.: Wird die Menschheit an sich selbst ersticken? edoc-server der Humboldt-Universität zu Berlin. 2018-06-01. see: <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/19955>

[6] Elsberg, M.: BLACK OUT. Morgen ist es zu spät. Blanvalet – ein Unternehmen der Verlagsgruppe Random House München, ISBN 978-3-442-38029-9

[7] Weller, W.: Auf dem Weg zum heutigen Menschen. Druck und Verlag epubli GmbH Berlin ISBN 978-3-7502-0473-7 see: <https://www.epubli.de/myaccount/publikation/>